

Qualidade de Serviço em Redes Corporais Sem Fio

Vinicius Corrêa Ferreira

Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)

Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói – RJ – Brazil

viniciusferreira@id.uff.br

***Resumo.** Desenvolvimentos tecnológicos recentes e avanços na comunicação sem fio permitiram que sensores de baixa potência, inteligentes, miniaturizados, pudessem ser estrategicamente colocados dentro ou ao redor do corpo humano, utilizados em diversas aplicações, como o monitoramento pessoal da saúde. Esta nova e interessante área de pesquisa é denominada Wireless Body Area Networks (WBANs) e alavancou o padrão emergente IEEE 802.15.6, especificamente padronizado para WBANs médicas. Um dos requisitos essenciais nestas redes é o gerenciamento da Qualidade de Serviço (QoS). Este trabalho descreve os mecanismos de QoS propostos para as WBANs dentro do escopo do padrão IEEE 802.15.6 e apresenta avaliações da literatura do mecanismo utilizado em diferentes condições.*

1. Introdução

Com a minituriarização e a capacidade crescente de dispositivos eletrônicos, graças à Lei de Moore, era inevitável que dispositivos pequenos e portáteis fossem desenvolvidos para comunicações em torno do corpo humano. Estes dispositivos podem ser utilizados para diversas aplicações, como para fins médicos, de entretenimento, de esportes de alto rendimento e militares. Alguns destes dispositivos podem ser “wearables”, dispositivos vestíveis, enquanto outros podem ser até mesmo implantáveis, usualmente utilizados para fins médicos. De toda forma, para atingirem seu fim específico, esses dispositivos necessitam de um canal de comunicação com controladores remotos.

A comunicação entre dispositivos pode ser alcançada através de uma rede, que consiste em nós sensores e atuadores inteligentes, de baixa potência, utilizando micro e nano-tecnologia, para assim fornecerem informações oportunas, como ambientais ou fisiológicas. Tais redes são comumente chamadas de redes corporais sem fio (Wireless Body Area Networks – WBANs) (Movassaghi et al., 2014).

O IEEE 802.15.6 (IEEE Computer Society, 2012) é um padrão para comunicações sem fio de curto alcance, nas proximidades ou internamente a um corpo humano (mas não limitado a humanos). Ele se utiliza da banda Industrial, Científica e Médica (*Industrial, Scientific and Medical* – ISM), bem como faixas de frequência em conformidade com as autoridades reguladoras médicas e órgãos regulamentadores de telecomunicações.

O padrão permite que os dispositivos funcionem com uma potência de transmissão muito baixa, para a segurança do usuário, além de aumentar a vida útil da bateria dos nós. Além disso, há suporte à Qualidade de Serviço (QoS), por exemplo,

para fornecer prioridade para mensagens de emergência. Uma vez que algumas comunicações podem conter informações confidenciais, ele também fornece um padrão de comunicação segura.

Haja vista o caráter heterogêneo das aplicações das WBANs, as mesmas devem incorporar recursos de gerenciamento de QoS para serem resilientes e seguras, além de permitirem serviços prioritários.

Este trabalho visa descrever algumas técnicas de QoS utilizadas para comunicação de WBANs utilizando o padrão IEEE 802.15.6. Na Seção 2, uma visão geral do padrão IEEE 802.15.6 e uma descrição do funcionamento da camada MAC são fornecidos. Na Seção 3, os mecanismos de QoS do padrão são apresentados. A Seção 4 apresenta as conclusões do trabalho.

2. O Padrão IEEE 802.15.6

O padrão IEEE 802.15.6 (IEEE Computer Society, 2012) foi proposto para comunicação sem fio de curto alcance na vizinhança ou mesmo internamente do corpo humano (mas não limitado a humanos). Os requisitos deste padrão incluem suporte para qualidade de serviço (QoS), baixa potência de transmissão, taxas de dados de até 10 Mbps e conformidade com diretrizes de não interferência.

Ademais, os efeitos do próprio corpo humano (homem, mulher, magro, obeso, etc.) em antenas portáteis e modelagem de padrões de radiação também são considerados para minimizar possíveis danos aos usuários e mudanças nas características do canal de comunicação devido aos movimentos do usuário.

Uma rede WBAN é composta de nós e *hubs*, que são organizados em conjuntos lógicos, denominados Redes de Área Corporal (BANs – *Body Area Networks*). Os nós são coordenados pelos respectivos *hubs* para acesso ao meio e gerenciamento de energia. Pela especificação, deve haver apenas um *hub* em uma BAN e vários nós, compondo uma topologia em estrela de um salto, conforme mostrado na Figura 1. Opcionalmente, um nó com uma capacidade de ser *relay* pode ser usado para estender a topologia em estrela em uma topologia de dois saltos, como na Figura 2. As trocas de quadros devem ocorrer diretamente entre nós e o *hub* da BAN ou, opcionalmente, através de um nó *relay*.

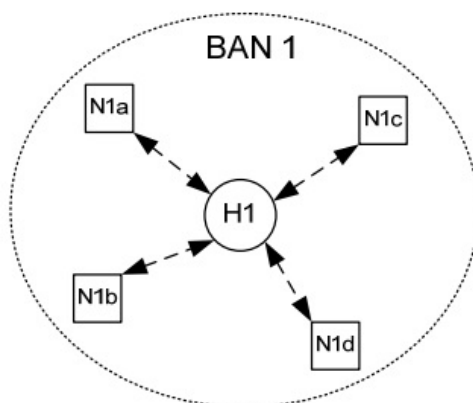


Figura 1 - Topologia de estrela com um salto (IEEE Computer Society, 2012).

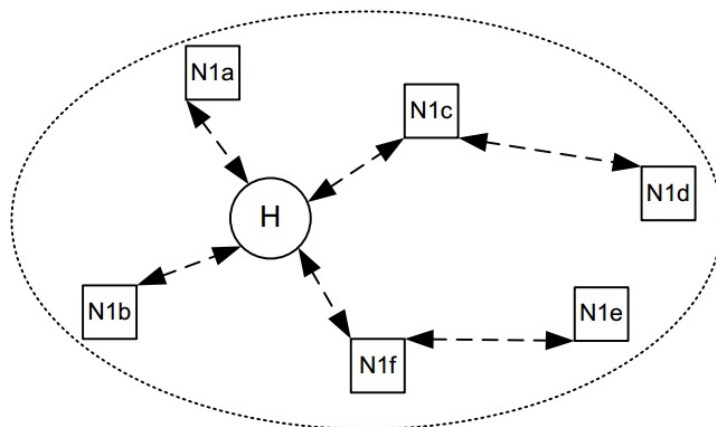


Figura 2 - Topologia estrela em dois saltos (IEEE Computer Society, 2012).

Todos os nós e *hubs* são divididos internamente em uma camada física (PHY) e uma subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC), de acordo com o modelo de referência IEEE 802, conforme mostra a Figura 3. Em um nó ou *hub*, a camada MAC fornece seu serviço ao cliente MAC (camada superior) através do ponto de acesso do serviço MAC (MAC SAP – *Service Access Point*), localizado imediatamente acima da subcamada MAC. Já a camada PHY fornece seu serviço à camada MAC através do PHY SAP, localizado entre eles. O cliente MAC passa as unidades de dados do serviço MAC (MSDU) para a subcamada MAC através do MAC SAP e a subcamada MAC passa os quadros MAC, como unidades de dados do protocolo MAC ou MPDUs, para a camada PHY através do PHY SAP.

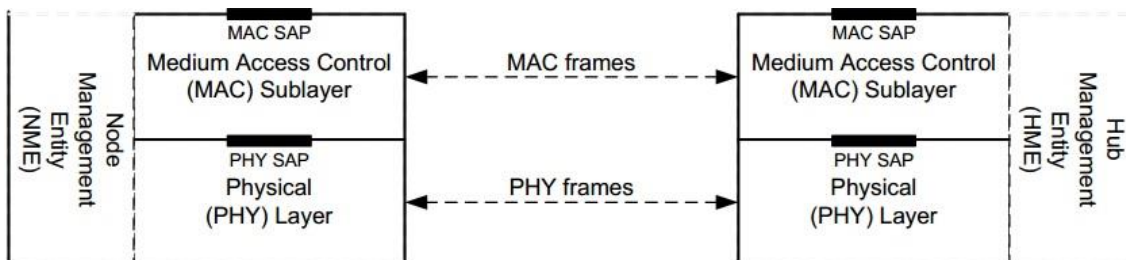


Figura 3 - Modelo de referência (IEEE Computer Society, 2012).

Quanto a entidade de gerenciamento de nó (NME – *Node Management Entity*) e a entidade de gerenciamento de hub (HME – *Hub Management Entity*), são entidades para o gerenciamento de informações da rede lógica, para trocar informações entre camadas. Não são obrigatórias, nem o comportamento delas é especificado pelo padrão.

As funções de controle de acesso ao meio e os mecanismos que darão suporte à QoS estão localizados na camada MAC, portanto focaremos o trabalho nesta camada. Além disso, o acesso ao meio pode se dar através de técnicas de agendamento e revezamento em determinados modos de operação das WBANs, porém abordaremos apenas os modos de acesso ao meio aleatórios.

Outro ponto em que há necessidade de gerenciar mecanismos de QoS é na coordenação de acesso na subcamada MAC entre BANs distintas, que não está especificada no padrão, apesar de mecanismos opcionais de coexistência e mitigação de

interferência entre BANs adjacentes ou sobrepostas serem fornecidos. Porém, neste trabalho iremos focar nos mecanismos de QoS internos a uma BAN, desconsiderando a existência de múltiplas BANs e a possível coordenação das mesmas.

2.1. Camada MAC

O padrão provê três modos de operação diferentes em relação às estratégias de modos de acesso: o modo de *beacon* e com períodos entre *beacon* (*superframe*), modo sem *beacon*, mas com *superframes* e modo sem *beacon* e sem *superframe*.

No modo *beacon* com *superframes*, que pode ser visualizado na Figura 4, o *hub* deve organizar as fases de acesso aplicáveis em cada período de *beacon* ativo (*superframe*). Há a fase de acesso exclusivo (EAP – *Exclusive Access Phase*), fase de acesso aleatório (RAP – *Random Access Phase*), fase de acessos gerenciado (MAP – *Managed Access Phase*) e uma fase de acesso de contenção (CAP – *Contention Access Phase*).

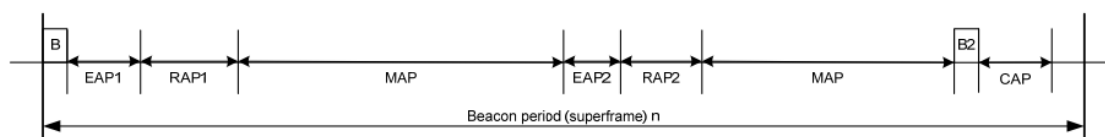


Figura 4 - Fases de acesso no modo com *beacon* e *superframe* (IEEE Computer Society, 2012).

Nos intervalos de alocação EAP, RAP e CAP, um nó pode obter e iniciar transações de quadros, utilizando o acesso aleatório CSMA/CA ou Slotted Aloha. No MAP, o *hub* deve providenciar intervalos de alocação agendados e um revezamento.

No modo sem *beacon* com *superframes*, há apenas um período de acesso MAP. Já sem o *beacon* e sem *superframes*, um *hub* pode fornecer intervalos de alocação não planejados. Um nó pode tratar qualquer intervalo de tempo como uma porção de EAP1 ou RAP1 e empregar acesso aleatório baseado em CSMA/CA para obter uma alocação.

Os mecanismos de QoS estão intrinsecamente ligados à forma de funcionamento do Slotted Aloha e CSMA/CA, portanto uma breve descrição de ambos é necessária:

- Slotted Aloha: O tempo de transmissão é dividido em intervalos de tempo iguais, denominados *slots*, como o tempo de transmissão de um quadro. Todos os nós devem estar sincronizados e conhecer o início de um intervalo. Um nó que deseja transmitir aguarda o início do próximo intervalo e então transmite. Caso haja colisão, identificada pela ausência de confirmação, o intervalo é perdido, então os nós esperam um tempo aleatório para uma nova tentativa no próximo intervalo.
- CSMA/CA: Antes do período de transmissão há um período prévio de verificação de ocupação do canal. Caso o canal esteja livre, o nó que deseja transmitir sorteia um tempo aleatório, denominado janela de contenção. Caso ao fim desta janela, o meio ainda esteja vazio, o nó pode iniciar sua transmissão. Então, um quadro de pedido de reserva do meio (RTS – *Request to Send*) pelo período necessário é feito, o nó receptor pode aceitar a reserva (CTS – *Clear to Send*) e comunicar aos demais nós ao seu alcance sobre a reserva, inicia-se então

a transmissão e todos os demais nós devem respeitar esta reserva, desta forma a evitar colisões. Caso o meio já esteja ocupado, o nó sorteia um tempo aleatório, denominado back-off, que deverá aguardar antes de iniciar uma transmissão com o meio desocupado em uma nova tentativa.

Estes mecanismos, tanto no Slotted Aloha quanto no CSMA/CA, serão explorados pelos mecanismos de QoS designados pelo padrão, pois os mesmos determinam a probabilidade de se encontrar o meio de comunicação disponível para uma dada transmissão.

3. Mecanismo de QoS

O mecanismo de QoS designado pelo padrão se utiliza desta probabilidade de encontrar o meio livre e transmitir antecipadamente, caso tenha um tempo de contenção menor e define diferentes prioridades de usuários (UP – *User Priority*). Para cada prioridade de usuário, é designado um intervalo do qual as esperas aleatórias serão sorteadas pelos mecanismos do CSMA/CA e Slotted Aloha.

Os valores de UP, quando referenciados na priorização de acesso ao meio por quadros de dados e de gerência, devem ser determinados com base na designação de cargas úteis de quadro (tráfego) contidas nos quadros de acordo com a Tabela 1. A designação de tráfego *background* (BK), *best effort* (BE), *excellent effort* (EE), *video* (VI), *voice* (VO) e controle de rede é baseada em alguns tipos de tráfego definidos no Anexo G.1 do IEEE Std 802.1D™ -2004 (IEEE Computer Society, 2004).

Tabela 1 - Contenção do CSMA/CA e Slotted Aloha por prioridade de usuário

UP	Designação de Tráfego	CSMA/CA		Slotted Aloha	
		CWmin	CWmax	CPmax	CPmin
0	Background (BK)	16	64	1/8	1/16
1	Best Effort (BE)	16	32	1/8	3/32
2	Excellent Effort (EE)	8	32	1/4	3/32
3	Video (VI)	8	16	1/4	1/8
4	Voice (VO)	4	16	3/8	1/8
5	Medical data or network control	4	8	3/8	3/16
6	High-priority medical data or network control	2	8	1/2	3/16
7	Emergency or medical implant event report	1	4	1	1/4

Desta forma, usuários com maior nível de prioridade possuem menor contenção e portanto maior probabilidade de acessar o meio para efetuar sua transmissão. No CSMA, com limiares da janelas de contenção (CW – *Contention Window*) menores e, no Slotted Aloha, com os limiares da probabilidades de contenção (CP – *Contention Probability*) maiores. Note que a probabilidade da contenção é dada como a probabilidade de se transmitir em um grupo de *slots*, portanto deve ser maior para um usuário com nível de prioridade mais alto.

A avaliação deste mecanismo de QoS, para cada modo de acesso ao meio, deve ser verificada, tanto para condições de saturação do canal, quanto de não saturação. Para tal, um levantamento bibliográfico foi realizado, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Referências utilizadas na análise dos mecanismos

Referência	Mecanismo de Acesso ao Meio	Condição do Canal
(Rashwand, Mišić, & Khazaei, 2011)	CSMA/CA	Saturação
(Sarkar, Misra, Chakraborty, & Obaidat, 2014),	CSMA/CA	Ideal
(Rashwand, Mišić, & Mišić, 2014)	CSMA/CA	Não Saturado
(Chowdhury, Ashrafuzzaman, & Kwak, 2014)	Slotted Aloha	Saturado

Em (Rashwand, Mišić, & Khazaei, 2011), avaliaram-se nós em ambiente ruidoso e saturado utilizando o mecanismo CSMA/CA. Observou-se que em condições de saturação e em um meio ruidoso, a coexistência de usuários de alta prioridade e baixa prioridade pode mostrar-se extremamente injusta, levando até mesmo à inanição do nó de baixa prioridade.

Já em (Sarkar, Misra, Chakraborty, & Obaidat, 2014), avaliou-se o mecanismo CSMA/CA em saturação, porém em condições ideais do canal de comunicação. Concluiu-se que não há diferenças significativas entre os usuários com prioridades 0 e 1, 2 e 3, e 4 e 5, podendo portanto a tabela de níveis de usuários ser reduzida apenas aos níveis 0, 2, 4, 6 e 7. Além disso, mostra-se uma relação direta entre a vazão da rede e o tamanho do payload dos quadros. Quadros maiores acarretam em maior payload em um crescimento linear, porém esse crescimento da vazão passa a ser delimitado pela queda na confiabilidade, devido ao aumento do descarte de pacotes, com efeito acentuando-se em uma faixa de payload entre 200 e 250 bytes.

Em (Rashwand, Mišić, & Mišić, 2014), o cenário avaliado foi o CSMA/CA em um canal ruidoso, porém não saturado. Os resultados encontrados são consistentes com os trabalhos anteriores, reafirmando que há um excesso de níveis de prioridades desnecessários e obtém-se um mesmo resultado para apenas 4 níveis: 0, 2, 4 e 7. Nesse trabalho concluiu-se também que o mecanismo CSMA/CA não é muito eficiente na utilização do meio. Pequenos tamanhos de janela de contenção para todas as UPs levam à saturação precoce do meio, aumentando a probabilidade de colisão no volume de tráfego de rede médio a alto. Já o aumento do tamanho de CW diminuirá a probabilidade de colisão e, assim, melhorará o desempenho da WBAN à custa de um maior consumo de energia e menor uso da capacidade do meio. Os resultados da análise realizada também indicam que a implantação do mecanismo de reserva do meio (RTS/CTS) degrada o desempenho da rede, especialmente quando o canal está abaixo do regime de saturação e os quadros de dados possuem um tamanho de pequeno a médio.

Análises em cenários utilizando o mecanismo Slotted Aloha são escassas. Em (Chowdhury, Ashrafuzzaman, & Kwak, 2014), é feita uma breve análise de um cenário heterogêneo, porém foi realizada apenas com propósito de demonstrar a efetividade do modelo analítico proposto. Assim, poucas conclusões podem ser tiradas do uso do mecanismo de QoS utilizando o controle de acesso ao meio Slotted Aloha.

Além da escassez da análise de cenários utilizando como mecanismo de acesso ao meio o Slotted Aloha, deve-se acrescentar que todos os trabalhos utilizados tratavam-se da topologia em estrela com apenas um salto. Avaliações utilizando um cenário com a topologia estendida para dois saltos não foram encontradas. Portanto, há uma carência de avaliações tanto para cenários com a topologia estendida, quanto para a utilização do mecanismo Slotted Aloha.

4. Conclusões

O uso de dispositivos sensores e atuadores dentro ou nas proximidades do corpo humano se mostra um cenário viável e cada vez mais próximo de se tornar realidade. Porém, a comunicação neste ambiente ainda é um desafio, em especial para o projeto de protocolos de acesso ao meio adaptáveis, dinâmicos e flexíveis para WBANs. Uma iniciativa que avançou nesta direção, foi a proposta do padrão IEEE 802.15.6, para comunicação sem fio de curto alcance, na vizinhança ou mesmo internamente ao corpo humano.

O padrão possui diversos modos de funcionamento. Neste trabalho investigou-se os modos que se utilizam de técnicas de acesso ao meio aleatório, CSMA/CA e Slotted Aloha, conforme é definido no padrão.

Aplicações com diferentes requisitos levaram à inclusão de mecanismos para gerar Qualidade de Serviço (QoS), no qual são definidos níveis de usuários. Neste mecanismo, usuários com maior prioridade possuem uma maior probabilidade de envio de quadros e um menor tempo de contenção para efetuarem suas transmissões.

Um levantamento bibliográfico da análise deste mecanismo para as diferentes técnicas de acesso ao meio foi efetuado. Dos trabalhos utilizados para análise, concluiu-se que há um número excessivo de níveis de prioridade de usuários e que o uso do mecanismo de QoS com o acesso ao meio CSMA/CA acarreta em uma sobreutilização do meio pelos usuários de maior prioridade, ao mesmo tempo que há a inanição dos usuários de menor prioridade, observa-se portanto um alto grau de injustiça.

O levantamento também ressaltou a falta de análise de cenários utilizando a técnica de acesso ao meio Slotted Aloha e uma completa ausência de trabalhos utilizando a topologia estendida com dois saltos em sua análise.

Como trabalho futuro, um novo levantamento para avaliações de técnicas de agendamento e revezamento será realizado. Este novo levantamento buscará verificar as técnicas utilizadas para garantir a qualidade de serviço em outros modos de operação. Além disso, mecanismos para garantir a qualidade de serviço na coexistência de BANs também deverá ser incluída nesta análise.

Referências

- Chowdhury, M. S., Ashrafuzzaman, K., & Kwak, K. S. (2014). Saturation throughput analysis of IEEE 802.15. 6 slotted Aloha in heterogeneous conditions. *IEEE Wireless Communications Letters*, 257-260.
- IEEE Computer Society. (2004). *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Access Control (MAC) Bridges*. New York: IEEE Standards.
- IEEE Computer Society. (2012). *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks*. New York: IEEE Standards Association.
- Movassaghi, S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith, D., & Jamalipour, A. (2014). Wireless body area networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1658-1686.

- Rashwand, S., Mišić, J., & Khazaei, H. (2011). Performance analysis of IEEE 802.15. 6 under saturation condition and error-prone channel. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)* (pp. 1167-1172). Cancun: IEEE.
- Rashwand, S., Mišić, J., & Mišić, V. B. (2014). Analysis of CSMA/CA Mechanism of IEEE 802.15.6 under Non-Saturation Regime. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 1279-1288.
- Sarkar, S., Misra, S., Chakraborty, C., & Obaidat, M. S. (2014). Analysis of reliability and throughput under saturation condition of IEEE 802.15. 6 CSMA/CA for wireless body area networks. *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 2405-2410). Austin: IEEE.